

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ПРИКОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ

Тюшляева Д.С., Ложкин Н.Н.

Руководитель – проф., д.т.н. Мальцева Л.А.

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»,
г. Екатеринбург,
mla44@mail.ru

Ранее проведенными на кафедре металловедения УрФУ исследованиями было показано, что для упрочнения алюминия и его сплавов к качеству упрочнителя по всем технологическим параметрам хорошо подходит мартенситно-стареющая сталь ЗИ90-ВИ, которая является теплостойкой до температур 500-550°C и методом жидкофазной технологии была получена композиция, упрочненная стальной проволокой, обеспечивающая достаточно высокий уровень прочностных свойств. Поэтому в данной работе одной из задач исследования ставилась возможность получения подобной композиции твердофазным методом совмещения материалов, а частности, сваркой взрывом. Бериллиевая бронза БрБ2 является классическим представителем термически упрочняемых бронз, которая широко используется для изготовления разнообразных упругих элементов. Оба этих материала имеют схожую технологию получения высокопрочного состояния, состоящую из холодной пластической деформации и последующего последеформационного старения. Поэтому вторым объектом получения и исследования была композиция сплав БрБ2 – сталь ЗИ90-ВИ. И наконец, третьим объектом исследования был композит, состоящий из разнородных материалов. Итак, материалами для сварки служили чередующиеся листы: 1) из алюминиевого сплава Д16 и мартенситно-стареющей стали 03Х12Н8К5М2ЮТ (ЗИ90-ВИ) толщиной $\approx 1,0$ мм и 0,5 мм соответственно (3-х слойный композит); 2) из алюминиевого сплава Д16 и мартенситно-стареющей стали 03Х12Н8К5М2ЮТ (ЗИ90-ВИ) толщиной $\approx 1,0$ мм и 0,5 мм соответственно (5-ти слойный композит); 3) из сплава БрБ2 – мартенситно-стареющей стали – сплава БрБ2 – мартенситно-стареющей стали – сплава БрБ2; толщиной 0,13 мм и 0,5 мм соответственно; 4) из мартенситно-стареющей стали 03Х12Н8К5М2ЮТ, титанового сплава ОТ4-1, алюминиевого сплава Д16, титанового сплава ОТ4-1 и мартенситно-стареющей стали. При сварке взрывом использовалось параллельное расположение пластин и следующие параметры: $\gamma = 20^\circ$, $V_d = 2450$ м/с; $V_c = 850$ м/с, где γ – угол соударения; V_d – скорость детонации; V_c – скорость соударения. Высота слоя взрывчатого вещества составляла 20 мм. Зазоры между свариваемыми пластинами – 2 мм.

1. Композит I: Д16 – 03Х12Н8К5М2ЮТ – Д16 (3-х слойный).

После сварки взрывом толщины слоев составляли: сплав Д16 – 0,87 мм, сталь 03Х12Н8К5М2ЮТ – 0,18 мм. Неровностей поверхности практически не наблюдается. Выявлены незначительные изменения микротвердости ($\Delta HV_{10} = 50-80$) с обеих сторон при подходе к контактной поверхности стали. Более светлые участки являются зоной дюралю, несколько обедненной легирующими элементами, которая имеет меньшее пересыщение легирующими элементами и условно будем называть ее зоной перемешивания. Следует отметить наличие плоской границы раздела между материалами и отсутствие каких-либо областей расплавления. Микротвердость дюралю составляет порядка $200HV_{10}$, в то время как микротвердость мартенситно-старееющей стали - $500HV_{10}$. Механические свойства композита I после сварки взрывом: $\sigma_B = 570$ МПа, $\sigma_{0,2} = 460$ МПа, $\delta = 9$ %. Испытания композиционного материала и исходных материалов на растяжение показало, что прочностные характеристики композиционного материала несколько ниже прочностных характеристик мартенситно-старееющей стали, однако выше характеристик материала матрицы, в данном случае, дюралю.

2. Композит II: Д16 – 03Х12Н8К5М2ЮТ – Д16 – 03Х12Н8К5М2ЮТ – Д16 (5-ти слойный). Металлографическим анализом было выявлено наличие трех зон: зоны – дюралю, зоны мартенситно-старееющей стали со структурой пакетного мартенсита и узкой переходной зоны (перемешивания) с обеих сторон на границах контактных поверхностей алюминий-сталь. Переходная зона вблизи границы раздела является неоднородной и имеет толщину порядка 15-20 мкм. Для выяснения структуры переходной зоны были проведены микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) и растровая электронная микроскопия (РЭМ). Неровности разделяющих поверхностей незначительные, практически гладкие, однако, можно отметить образование очень тонкого переходного слоя, содержащего повышенное содержание алюминия до 85 ат. %, а также атомы железа, хрома и никеля. По внешнему виду выделений можно предположить, что это прослойка интерметаллидной фазы. Микротвердость дюралю и мартенситно-старееющей стали, как указывалось и в предыдущем случае, также составляет порядка 200 и $500 HV_{10}$, соответственно, при этом на приконтактных со сталью участках наблюдалось не повышение, а некоторое понижение микротвердости. Проведенные испытания на перегиб показали, что число знакопеременных перегибов составляет от 7 до 10. Полученный при данных параметрах сварки взрывом композит является достаточно прочным соединением, имеющим плоскую границу раздела с отсутствием участков полного или частичного оплавления.

3. Композит III: БрБНТ– 03Х12Н8К5М2ЮТ - БрБНТ– 03Х12Н8К5М2ЮТ – БрБНТ. Форма границы при используемых в настоящей работе параметрах сварки уже не плоская, а волнообразная,

вблизи с которой наблюдаются зоны частичного оплавления. Переходная волнообразная граница раздела данного композита отличается от описанных выше, прежде всего, амплитудой и длиной волны у разных слоев относительно ударной волны. Это объясняется тем, что верхние сварные швы подвергаются более интенсивному динамическому нагружению. На поверхностях раздела наблюдаются выступы более твердого материала (стали) в другой, более мягкий – (бронзу). Микротвердость бронзы составляет несколько выше 300 HV_{10} , в то время как микротвердость мартенситно-старееющей стали - 500 HV_{10} . В то же время можно отметить повышение микротвердости на $20\text{-}80 \text{ HV}_{10}$ в отдельных приконтактных поверхностях бериллиевая бронза – мартенситно-старееющая сталь. При испытаниях на перегиб не наблюдалось расслоения сварного соединения. Число перегибов составляло от 10 до 12.

4. Композит IV: 03X12H8K5M2ЮТ – ОТ4-1 – Д16 – ОТ4-1 - 03X12H8K5M2ЮТ. Вдоль всего профиля соединения металлов имелось хорошее соединение компонентов без пор и несплошностей. После сварки взрывом толщины слоев составляли: ОТ4-1 – 0,89 мм, Д16 – 0,87 мм, сталь 03X12H8K5M2ЮТ – 0,18 мм. Границы раздела имеют характерную для сварки взрывом слабую волнообразную форму. В данном композите наблюдаемая волнообразность со стороны удара обладает гораздо меньшей амплитудой и длиной волны, чем в рассмотренных ранее композитах. В процессе сварки взрывом образовались ровные переходные зоны, титан-сталь и дюраль-титановый сплав, которые также являются зонами перемешивания. Микротвердость титанового сплава составляет порядка 300 HV_{10} , в то время как микротвердость дюрала и мартенситно-старееющей стали, как и во всех предыдущих композитах, 200 и 500 HV_{10} , соответственно. Механические свойства композиции IV непосредственно после сварки взрывом: $\sigma_B = 685 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 525 \text{ МПа}$ $\delta = 9 \%$. Проведенные испытания на перегиб показали, что число перегибов во всех приведенных выше композитах составляет от 7 до 10.

Проведенное исследование полученных сваркой взрывом композитов из различных материалов показало, что сварка взрывом является технологическим процессом, позволяющим соединять разнородные материалы. На основании структурных исследований можно сделать вывод о высоком качестве сварных швов. В процессе сварки металлические материалы претерпевают существенные структурные изменения, к которым относится интенсивная пластическая деформация приграничных слоев и образование новых фаз. На границе разнородных материалов в переходной зоне наблюдается интенсивное перемешивание, приводящее к изменению химического состава материала, иногда с образованием новых интерметаллидных фаз.